



AI

**PCT** WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro  
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :</b>  <b>H01L</b>	<b>A2</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 97/17719</b>  <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 15. Mai 1997 (15.05.97)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/DE96/01983 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 16. Oktober 1996 (16.10.96)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 195 38 650.7      17. Oktober 1995 (17.10.95)      DE  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> FRAUN- HOFER GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leon- rodstrasse 54, D-80636 München (DE).  <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> SCHNEIDER, Harald [DE/DE]; Fichtenstrasse 26, D-79194 Gundelfingen (DE). SCHÖNBEIN, Clemens [DE/DE]; In den Weihermatten, D-79108 Freiburg (DE).  <b>(74) Anwalt:</b> MÜNICH, Wilhelm; München, Rösler, Steinmann, Wilhelm-Mayr-Strasse 11, D-80689 München (DE).		<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> CA, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>
<b>(54) Title:</b> SEMICONDUCTOR HETEROSTRUCTURE RADIATION DETECTOR, WITH TWO SPECTRAL SENSITIVITY REGIONS  <b>(54) Bezeichnung:</b> HALBLEITERHETEROSTRUKTUR-STRAHLUNGSDETEKTOR, MIT ZWEI SPEKTRALEN EMPFIND- LICHKEITSBEREICHEN  <b>(57) Abstract</b>  The invention relates to a semiconductor heterostructure radiation detector which has two adjacent semiconductor layer regions, sensitive in different spectral regions, in which photons each with different energies can be absorbed which optically excite charge carriers present in the semiconductor layer regions in such a manner that a photocurrent can be generated in each semiconductor layer region in relation to an external electrical voltage applied via electrodes which are provided on the semiconductor heterostructure. The invention is characterised in that the one semiconductor layer region is a photodiode and the other is a quantum well intersub-band photodetector.  <b>(57) Zusammenfassung</b>  Beschrieben wird ein Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor, der zwei aneinandergrenzende, in unterschiedlichen spektralen Bereichen empfindliche Halbleiterschichtbereiche aufweist, in denen Photonen mit jeweils unterschiedlichen Energien absorbierbar sind, die in den Halbleiterschichtbereichen vorhandene Ladungsträger derart optisch anregen, so daß ein Photostrom in den jeweiligen Halbleiterschichtbereichen in Abhängigkeit einer über Elektroden, die an der Halbleiterheterostruktur vorgesehen sind, anliegenden äußeren elektrischen Spannung generierbar ist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß der eine Halbleiterschichtbereich eine Photodiode und der andere ein Quantumwell-Intersubband-Photodetektor ist.		

Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor, mit zwei  
spektralen Empfindlichkeitsbereichen

B e s c h r e i b u n g

**Technisches Gebiet**

Die Erfindung bezieht sich auf einen Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor, der zwei spektrale Empfindlichkeitsbereiche aufweist. Die zwei spektralen Empfindlichkeitsbereiche resultieren aus aneinandergrenzenden Halbleiterschichtbereichen, in denen Photonen mit jeweils unterschiedlichen Energien absorbierbar sind. Die Photonen regen in den Halbleiterschichtbereichen vorhandene Ladungsträger derart optisch an, so daß in Abhängigkeit einer äußeren elektrischen Spannung, die über Elektroden, die an der Halbleiterschichtstruktur vorgesehen sind, ein Photostrom generierbar ist.

**Stand der Technik**

Auf dem Gebiet der Halbleiter-Strahlungsdetektoren sind zum einen Photodioden bekannt mit herkömmlichen p-i-n-Übergängen auch sogenannte Quantumwell-Intersubband-Photodetektoren (QWIP), deren spektrale Empfindlichkeitseigenschaften durch entsprechende Wahl von Materialschichtsystemen, Schichtdickenparameter sowie der Wahl von n- oder p-Dotierungen eingestellt werden können. Herkömmliche Photodioden weisen spektrale Empfindlichkeiten im sichtbaren bis in den nahen infraroten Spektralbereich auf. Je nach Materialwahl können sie jedoch auch Wellenlängen im  $\mu\text{m}$ -Bereich detektieren. Die sogenannten Quantumwell-Intersubband-Photodetektoren weisen an sich spektrale Empfindlichkeitsbereiche im längerwelligen Spektralbereich auf,

BERICHTIGTES BLATT (REGEL 91)

**ISA/EP**

vorzugsweise im Bereich zwischen 3 und 20  $\mu\text{m}$ -Bereich, welche sich durch die Wahl der Material- und Schichtdickenparameter einstellen lassen.

Neben der Leistungssteigerung und Optimierung einzelner Strahlungsdetektoren werden Kombinationen aus Strahlungsdetektoren untersucht, mit denen es möglich ist elektromagnetische Strahlung mit verschiedenen Wellenlängen zu erfassen. Es sind sogenannte Zweifarbandetektoren bekannt, die beispielsweise in der Thermographie sowie für die optische Diskriminierung bestimmter Objekte innerhalb des von dem Strahlungsdetektor erfaßten Aufnahmefeldes verwendet werden.

In dem Artikel von A. Köck et al.: "Double wavelength selective GaAs/AlGaAs infrared detector device", Appl. Phys. Lett. 60, 2011 (1992) wird die Kombination zweier QWIP-Halbleiterstrukturen mit unterschiedlichen Detektionswellenlängen vorgeschlagen. Das in diesem Artikel vorgestellte 2-stufige QWIP-System besteht aus jeweils alternierenden GaAs/AlGaAs-Schichtabfolgen.

Zur unterschiedlichen spektralen Empfindlichkeitseinstellung werden Quantumwell-Strukturen verwendet, die sich durch die Dimensionierung der für die Quantumwell-Struktur charakteristischen Barrierenhöhe bzw. Bandabstand sowie Topfbreite bzw. Schichtdicke unterscheiden. Die für die Detektion unterschiedlicher Wellenlängen konditionierten QWIP-Strukturen sind jedoch durch eine zusätzliche dotierte Kontaktschicht voneinander getrennt. Die auf diese Weise erreichbare physikalische Separierung hat zwar den Vorteil, daß beide QWIP-Strukturen getrennt voneinander auf ihre jeweilige Arbeitswellenlänge optimiert werden können, doch haftet dieser Anordnung der Nachteil an, daß

durch die Separierung für die Spannungsversorgung wenigstens eine zusätzliche Elektrode mehr erforderlich ist.

Aus Rationalisierungsgründen hat man daher versucht, die in der vorstehend genannten Literaturstelle beschriebene Detektorstruktur mit nicht angeschlossener, zusätzlicher Elektrode zu betreiben (siehe hierzu den Beitrag von K. L. Tsai, et al. "Two-color infrared photodetector using GaAs/AlGaAs and strained InGaAs/AlGaAs multiquantum wells", Appl. Phys. Letter 62, 3704, (1993)). Beim Betrieb derartiger Detektorstrukturen hat sich herausgestellt, daß die relative Empfindlichkeit bezüglich der beiden Arbeitswellenlängen durch Anlegen einer geeigneten elektrischen Spannung abstimmbaar ist. Jedoch besteht der Nachteil, daß sich die elektrisch in Serie geschalteten Einzeldetektoren gegenseitig in ihrer Arbeitsweise beeinflussen. Je nach Anlegen einer äußeren Spannung kann die Photoempfindlichkeit eines der beiden kombinierten Detektoren erhöht werden, wobei die Empfindlichkeit des anderen Detektors abgesenkt ist. Das gesamte Rauschverhalten der Detektorkombination wird insbesondere durch den jeweils nicht an der Photodetektion beteiligten Detektorteil mitbestimmt, so daß das mit dieser Detektorstruktur erzielbare Signal- zu Rauschverhältnis verhältnismäßig schlecht ist.

Ferner ist ein Zweifarbandetektor aus einem Beitrag von K. Kheng et al. "Two-color GaAs/(AlGa)As quantum well infrared detector with voltage-tunable spectral sensitivity at 3-5 and 8-12  $\mu\text{m}$ ", Appl. Phys. Letter 61, 666 (1992), bekannt, der auf einer einzigen QWIP-Struktur mit zwei möglichen Intersubband-Übergängen, bei einer Wellenlängen von 5  $\mu\text{m}$  und 10  $\mu\text{m}$ , beruht. Die Auswahl der Arbeitswellenlänge wird dadurch ermöglicht, daß der 5  $\mu\text{m}$ -Übergang ein photovoltaisches und der 10  $\mu\text{m}$ -Übergang ein photoleitendes Ver-

BERICHTIGTES BLATT (REGEL 91)  
**ISA/EP**

halten zeigt. Auch hier besteht der prinzipielle Nachteil, daß das Rauschverhalten auch bei kürzeren Arbeitswellenlängen durch das mit der längerwelligen Detektion assoziierte Rauschen bestimmt wird.

Schließlich sind elektrisch abstimmbare Zweifarbandetektoren bekannt, die durch die Kombination zweier gegeneinander geschalteter p-i-n-Photodioden gebildet sind (siehe hierzu den Beitrag von M.P. Reine et al. "Independently accessed back-to-back HgCdTe photodiodes: A new dual-band infrared detector", J. Electronic Mater. 24, 669 (1995)).

#### Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor, der zwei aneinander grenzende, in unterschiedlichen spektralen Bereichen empfindliche Halbleiterschichtbereichen aufweist, in denen Photonen mit jeweils unterschiedlichen Energien absorbierbar sind, die in den Halbleiterschichtbereichen vorhandene Ladungsträger derart optisch anregen, so daß ein Photostrom in den jeweiligen Halbleiterschichtbereichen in Abhängigkeit einer über Elektroden, die an der Halbleiterheterostruktur vorgesehen sind, anliegenden äußeren elektrischen Spannung generierbar ist, derart weiterzubilden, daß die spektralen Empfindlichkeitsbereiche bei der Halbleiterschichtstrukturen ohne nachhaltige Beeinflussung des Gesamt-Rauschverhaltens des Zweifarbanddetektors getrennt voneinander einstellbar sind. Insbesondere soll das Rauschverhalten des Zweifarbanddetektors durch das Rauschen des jeweils aktiven Einzeldetektors dominiert werden. Ferner sollen die spektralen Empfindlichkeitsbereiche beider Halbleiterschichtdetektoren weitgehend unabhängig

BERICHTIGTES BLATT (REGEL 91)

ISA/EP



voneinander eingestellt und optimiert werden können. Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft ausgestaltende weitere Ausführungsformen sind in den Ansprüchen 2ff. angegeben.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, einen Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 derart auszugestalten, so daß die beiden aneinandergrenzenden, sich in ihren spektralen Empfindlichkeitsbereichen unterscheidenden Halbleiterschichtbereichen aus der Kombination einer Photodiode und einem Quantumwell-Intersubband-Photodetektor besteht. Durch die erfindungsgemäße Kombination einer Photodiode mit einer QWIP-Struktur ist es im Unterschied zu den bisherigen Ansätzen zur Realisierung elektrisch abstimmbarer Zweifarbandetektoren gelungen, daß das Rauschverhalten des erfindungsgemäßen Zweifarbanddetektors durch das Rauschen des jeweils aktiven Einzeldetektors bestimmt wird.

Vorzugsweise werden die in ihrem Aufbau unterschiedlichen Einzeldetektoren derart auf einem Grundsubstrat aufgebracht, so daß mit den Mitteln epitaktischer Abscheideverfahren, vorzugsweise dem Molekularstrahlepitaxie-Verfahren, die Schichtenfolge einer p-i-n-Photodiode auf einem Grundsubstrat abgeschieden wird, über den in unmittelbarer Abfolge die Schichtenfolge eines Quantumwell-Intersubband-Photodetektor aufgebracht wird. Überdies werden wenigstens zwei Elektroden vorgesehen, von denen die eine mit dem der QWIP-Struktur gegenüberliegenden Kontaktschicht der Photodiode und die andere Elektrode mit der obersten Deckschicht der QWIP-Struktur kontaktiert wird.

BERICHTIGTES BLATT (REGEL 91)  
**ISA/EP**

Bei Anlegen einer äußeren elektrischen Spannung an die Elektroden derart, daß sich die p-i-n-Photodiode in Durchlaßrichtung befindet, ist die spektrale Empfindlichkeit des erfindungsgemäßen Zweifarbandetektors durch den Halbleiterschichtbereich der QWIP-Struktur vorgegeben. Der Grund hierfür liegt darin, daß die Photodiode, die in Durchlaßrichtung betrieben wird, einen vernachlässigbaren differentiellen Innenwiderstand aufweist, so daß sie die Empfindlichkeit der aktiven QWIP-Struktur nicht nachhaltig beeinflusst.

Wird hingegen die äußere Spannung derart angelegt, daß sich die Photodiode in Sperrichtung befindet, so bestimmt sich die Empfindlichkeit des gesamten Zweifarbandetektors einzig und allein durch die Photodiode. Dies liegt daran, daß die Photodiode einen extrem hohen Dunkelwiderstand aufweist, gegenüber dem der differentielle Innenwiderstand der QWIP-Struktur vernachlässigt werden kann.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnung

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1a, b    Bänderdiagramm eines erfindungsgemäßen Zweifarbandetektors in zwei unterschiedlichen Betriebszuständen,

Fig. 2        Abhängigkeitsdiagramm der Detektorempfindlichkeit im Verhältnis zur äußeren, angelegten Spannung.

#### Darstellung von Ausführungsbeispielen

Aus Figur 1 sind in den Teilfiguren a und b jeweils die

Bänderschema einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Zweifarbandetektors dargestellt. Die in den Teilfiguren sich gegenüberliegenden Linienzüge entsprechen jeweils dem Valenz- (VB) und dem Leitungsband (LB).

Die Schichtabfolge ist dabei derart gewählt, daß beginnend mit dem linken Rand auf einer Grundsubstratschicht, die aus GaAs besteht eine p-dotierte GaAs-Schicht (1) aufgebracht ist, die zugleich den p-Bereich der p-i-n-Photodiode darstellt. Im übrigen sind alle weiteren Schichtenfolgen mit Hilfe der Molekularstrahlepitaxie aufeinander aufgebracht. Der für eine Photodiode charakteristische intrinsische (i) Bereich weist eine Vielzahl, dünner, alternierender InGaAs-Schichten (2) in Abfolge mit GaAs-Schichten (3) auf. Hierbei entsprechen die Schichten mit geringeren Bandabständen den Bereichen der InGaAs-Schichten, wohingegen die Schichtbereiche größerer Bandabstände GaAs enthalten. Die derart ausgebildete i-Schicht dient insbesondere der Erweiterung des Empfindlichkeitsbereiches zu Wellenlängen hin, für die das GaAs-Substrat transparent ist. Auf die in dem i-Bereich sogenannte abgetragene Multiquantumwell-Struktur ist eine n-dotierte GaAs-Schicht (4) abgeschieden. Sie stellt zugleich auch den n-Bereich der p-i-n-Photodiode dar. Unmittelbar auf die n-Schicht ist eine Quantumwell-Intersubband-Struktur aufgebracht, die Schichtabfolgen aus AlGaAs (5) und GaAs (6) aufweist. Bereiche mit größerem Bandabstand entsprechen den AlGaAs-Schichten, wohingegen die dazwischen liegenden Bereiche mit jeweils kleinerem Bandabstand aus n-dotierten GaAs bestehen. Als die Quantum-Intersubband-Struktur abschließende Deckschicht wird eine n-dotierte GaAs Schicht verwendet.

BERICHTIGTES BLATT (REGEL 91)

ISA/EP



Die Quantumwell-Struktur ist dabei derart dimensioniert, daß die in den Potentialtöpfen befindlichen Ladungsträger L quantisierte Zustände einnehmen und daß die Barrierenhöhe, die durch den großen Bandabstand in den AlGaAs-Schichten bestimmt sind, ein Durchtunneln der Ladungsträger von einem zum anderen Potentialtopf ausschließen.

Die erfindungsgemäße Kombination aus einer Photodiode und einer QWIP-Struktur ist gemäß Ausführungsbeispiel der Figur 1 wie dort angegeben mit den Elektroden E1, E2 und E3 versehen. Die Elektrode E2, die vorzugsweise auf dem n-Bereich der Photodiode aufgebracht ist, ist als floatende Elektrode ausgeführt.

Über die Elektroden E1 und E2 wird eine äußere Spannung angelegt, die im Fall a) derart gewählt ist, daß sich die Photodiode in Durchlaßrichtung befindet. Unter diesen Spannungsverhältnissen wird das Bänderschema der QWIP-Struktur aufgrund des äußeren, bestehenden elektrischen Feldes derart verbogen, daß aufgrund optischer Anregung die in den unteren Intersubbändern befindlichen Elektronen in obere, nicht eingezeichnete Zustände angeregt werden, die in der Nähe bzw. oberhalb der Ladungsbandkante liegen. Durch optische Anregung können derartige Ladungsträger zum Teil auch ins Kontinuum, d.h. über die Leitungsbandkantenenergie, gehoben werden, so daß sie aufgrund des äußeren elektrischen Feldes sofort seitlich abgezogen werden und auf diese Weise zum Photostrom beitragen können.

Der Betriebszustand des Zweifarbandetektors gemäß Figur 1a stellt den Fall dar, in dem der spektrale Empfindlichkeitsbereich der QWIP-Struktur überwiegt, wodurch der sich bildende Photostrom einzig und allein aus Ladungsträgern zusammensetzt, die aufgrund von Intersubbandabsorptions-

prozessen herrühren.

Wird hingegen die äußere Spannung derart angelegt, daß die Photodiode in Sperrrichtung gepolt ist, so werden die innerhalb der i-Schicht der Photodiode generierten Ladungsträger aufgrund optischer Absorption durch das innerhalb der i-Schicht vorherrschende elektrische Feld aufgetrennt und tragen auf diese Weise zum Photostrom bei.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt beim Betrieb des erfindungsgemäßen Zweifarbandetektors besteht darin, daß das Rauschverhalten des Gesamtdetektors jeweils von dem Teil des Detektors bestimmt ist, in dem der jeweilige Photostrom generiert wird. Dies liegt insbesondere darin, daß die in Sperrrichtung gepolte Photodiode einen extrem hohen Dunkelwiderstand aufweist, gegenüber dem der differentielle Innenwiderstand der QWIP-Struktur vernachlässigt werden kann. Ebenso weist der differentielle Innenwiderstand der Photodiode, die in Durchlaßrichtung gepolt ist, einen derart kleinen Wert auf, so daß der Rauschanteil aus diesem Detektorbereich gegenüber dem Rauschanteil der aktiv betriebenen QWIP-Struktur durch geeignete Materialwahl vernachlässigt werden kann.

Vorzugsweise ist der Zweifarbandetektor, wie im angegebenen Beispiel gemäß Figur 1 derart auf zwei Wellenlängen zu optimieren, so daß längerwellige Strahlungsanteile von der QWIP-Struktur und kürzere Wellenlängenanteile von der p-i-n-Photodiode absorbiert werden.

Aus Figur 2 geht ein Diagramm hervor, aus dem das spektrale Empfindlichkeitsverhalten in Abhängigkeit der Photonenenergie des in Figur 1 angegebenen Zweifarbandetektors bei zwei unterschiedlichen Spannungsverhältnissen dargestellt

ist. Die spektrale Empfindlichkeit ist in Ampere pro eingestrahlte Photonen-Leistung in Watt entlang der Ordinate dargestellt. Die Photonenenergien sind an der Abszisse aufgetragen.

Bei einer äußeren Spannung von 2 Volt in Durchlaßrichtung bezüglich der Photodiode beträgt die spektrale Empfindlichkeit in der QWIP-Struktur 0,5 A/W bei einer Photonenenergie von 153 meV.

Wird hingegen eine Bias-Spannung von 1 Volt in Sperrichtung bezüglich der Photodiode eingestellt, so ergibt sich im Bereich der Photodiode eine spektrale Empfindlichkeit von 0,18 A/W bei einer Photonenenergie von 1,47 eV.

Die mit dem erfindungsgemäßen Zweifarbandetektor gewonnenen Meßdaten entsprechen jeweils den Detektorempfindlichkeiten von an sich bekannten Einzeldetektoren, so daß gezeigt werden kann, daß die Kombination eines Strahlungsdetektors bestehend aus einer Photodiode und einem Quantumwell-Intersubband-Photodetektors ähnliche Detektionseigenschaften aufweist, wie es bei Einzeldetektoren in Alleinstellung der Fall ist.

Ferner geht aus Figur 2 im rechten unteren Teil des Diagramms hervor, daß durch Bestrahlung des Zweifarbandetektors von der Rückseite (back illum.), d.h. von Seiten des Grundsubstrates, der Empfindlichkeitsbereich bei etwa 1,5 eV abbricht, was mit der großen Absorption durch das Grundsubstrat erklärbar ist. Im Gegensatz hierzu ist gestrichelt die spektrale Empfindlichkeit der Photodiode in Vorwärtsbestrahlung dargestellt, die erheblich über der Funktion der Rückwärtsbestrahlung liegt.

Neben der oben erwähnten konkreten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Zweifarbandetektors sind auch weitere Materialkombinationen bzw. Dotierungsmöglichkeiten denkbar. So können ebenso n-i-p-Photodioden verwendet werden und mit einer entsprechend p-dotierten Quantumwell-Struktur kombiniert werden. Ebenso sind invertierte Schichtreihenfolgen denkbar, bei denen zuerst die QWIP-Struktur und danach erst die Schichten der Photodiode auf dem Substrat abgeschieden werden. Zusätzliche Ausgestaltungen ergeben sich beispielsweise bei der Verwendung eines p-dotierten Quantumwell-Intersubband-Photodetektors, d.h. eine QWIP-Struktur mit p-dotierten Quantenwell-Schichten und einem p-leitenden Kontakt.

Desweiteren ergeben sich Alternativen zu dem oben beschriebenen Materialsystem AlGaAs/GaAs/InGaAs. So bietet es sich an auf einem InP-Substrat als QWIP-Struktur eine Vielfachschichtabfolge bestehend aus InGaAs/InAlAs an die Gitterkonstante des Substrat-Kristalls angepaßt bzw. leicht verspannt auf dem Grundsubstrat abzuscheiden. Ferner ist als Photodiodenmaterial InGaAs zu wählen.

Alternativ dazu kann auf einem GaSb-Substrat als QWIP-Struktur eine Vielfachschichtabfolge bestehend aus GaSb/AlGaSb abgeschieden werden, über das entweder als Photodiodenschicht InAs oder ein Übergitter bestehend aus GaSb-InAs oder bestehend AlGaSb/InGaSb abgeschieden werden kann.

Die durch Einsatz unterschiedlicher Materialien sowie geeignete Wahl von Schichtparametern und Dotierungstypen können Zweifarbanddetektoren unter Verwendung der erfindungsgemäßen Kombination aus einer Photodiode und einer QWIP-Struktur beliebig konditioniert werden, so daß beide

BERICHTIGTES BLATT (REGEL 91)

**ISA/EP**

Detektorbereiche getrennt voneinander auf jeweils unterschiedliche spektrale Empfindlichkeitsbereiche optimiert werden können.

Als weitere vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektors wird ein üblicherweise in Verbindung mit QWIP-Detektoren verwendetes Beugungsgitter eingesetzt, das auf bzw. unter die Detektorstruktur aufgebracht wird. Die Vorteile eines derartigen Gitters rühren daher, daß aufgrund der Polarisationsauswahl-regeln für Intersubbandübergänge das einfallende Licht eine Komponente des elektrischen Feldvektors entlang der Wachstumsrichtung des Halbleitergitters aufweisen muß. Dies bedeutet, daß die Ausbreitungsrichtung des Lichtes innerhalb der Detektorstruktur senkrecht bzw. schräg zur Wachstumsrichtung erfolgen soll. Um dieser Forderung besser nachkommen zu können, werden der auf die Struktur einfallende Strahlungsanteil bzw. der gegenüber der beleuchteten Seite des Detektors reflektierte Anteil der Strahlung, der im spektralen Empfindlichkeitsbereich des Quantumwell-Intersubband-Photodetektors liegt, schräg zur Einfallsrichtung abbeugt.

Die erfindungsgemäßen Zweifarbandetektoren können im Einzelbetrieb sowie auch in einer Arrayanordnung betrieben werden. Typische laterale Abmessungen eines Einzeldetektors betragen  $(10 - 1000 \mu\text{m})^2$  bei typischen Gesamtschichtdicken von wenigen  $\mu\text{m}$ . Insbesondere finden derartige Zweifarbandetektoren Einsatz in sogenannten Focal-Plane-Array Kamerasystemen die beispielsweise zur Thermographie eingesetzt werden.



P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor, der zwei aneinandergrenzende, in unterschiedlichen spektralen Bereichen empfindliche Halbleiterschichtbereichen aufweist, in denen Photonen mit jeweils unterschiedlichen Energien absorbierbar sind, die in den Halbleiterschichtbereichen vorhandene Ladungsträger derart optisch anregen, so daß ein Photostrom in den jeweiligen Halbleiterschichtbereichen in Abhängigkeit einer über Elektroden, die an der Halbleiterheterostruktur vorgesehen sind, anliegenden äußeren elektrischen Spannung generierbar ist, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß der eine Halbleiterschichtbereich eine Photodiode und der andere ein Quantumwell-Intersubband-Photodetektor ist.

2. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß der Quantumwell-Intersubband-Photodetektor n-leitend ist und die Photodiode einen n-dotierten Bereich aufweist, der an den Quantumwell-Intersubband-Photodetektor angrenzt, und daß zum Anlegen einer äußeren Spannung eine Elektrode am p-dotierten Bereich der Photodiode und eine zweite Elektrode am Quantumwell-Intersubband-Photodetektor angebracht ist.

3. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Quantumwell-Intersubband-Photodetektor p-leitend ist und die Photodiode einen p-dotierten Bereich aufweist, der an den Quantumwell-Intersubband-Photodetektor angrenzt, und daß zum Anlegen einer äußeren Spannung eine Elektrode am n-dotierten Bereich der Photodiode und eine zweite Elektrode am Quantumwell-Intersubband-Photodetektor angebracht ist.

4. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß auf einem Grundsubstrat zunächst die Schichtenabfolge einer Photodiode abgeschieden ist, auf der unmittelbar die Schichtenfolge eines Quantumwell-Intersubband-Photodetektor aufgebracht ist.

5. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Grundsubstrat zunächst die Schichtenabfolge eines Quantumwell-Intersubband-Photodetektors abgeschieden ist, auf der unmittelbar die Schichtenfolge einer Photodiode aufgebracht ist.

6. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet, daß durch Variation der äußeren Spannung die spektralen Empfindlichkeitsbereiche beider Halbleiterschichtbereiche selektierbar sind.

7. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Photodiode eine p-i-n-Photodiode ist.

8. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet, daß eine weitere Elektrode am n-Bereich der p-i-n-Photodiode vorgesehen ist.

9. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach Anspruch 7 oder 8,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Photodiode aus folgenden Schichten zusammengesetzt ist:

p-Schicht: p-dotiertes GaAs

i-Schicht: InGaAs/GaAs abwechselnde Schichtenfolge

n-Schicht: n-dotiertes GaAs

und daß der unmittelbar auf die n-Schicht der Photodiode aufgebrachte Quantumwell-Intersubband-Photodetektor alternierende Schichten jeweils aus AlGaAs und GaAs aufweist.

10. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet, daß die für die Photoabsorption beitragenden Intersubbandabstände innerhalb des Quantumwell-Intersubband Photodetektors kleiner sind als die entsprechenden Bandabstände der Photodiode.

11. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 1 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Photodiode durch Anlegen einer äußeren Spannung in Durchlaßrichtung einen gegenüber dem Quantumwell-Intersubband-Photodetektor vernachlässigbaren differentiellen Innenwiderstand aufweist.

12. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 1 bis 11,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Photodiode durch Anlegen einer äußeren Spannung in Sperrichtung einen Dunkelwiderstand aufweist, gegenüber dem der differentielle Innenwiderstand des Quantumwell-Intersubband-Photodetektors vernachlässigbar ist.

13. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 1 bis 12,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Photodiode einen kürzerwelligen und der Quantumwell-Intersubband-Photodetektor einen längerwelligen Empfindlichkeitsbereich aufweist.

14. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 1 bis 13,  
dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Schichtabfolgen der Photodiode und des Quantumwell-Intersubband-Photodetektors nacheinander epitaktisch auf einem Substrat aufgebracht sind.

15. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 1 bis 14,  
dadurch gekennzeichnet, daß die zwei Halbleiterschichtbereiche folgende spektralen Empfindlichkeits-

bereiche aufweisen:

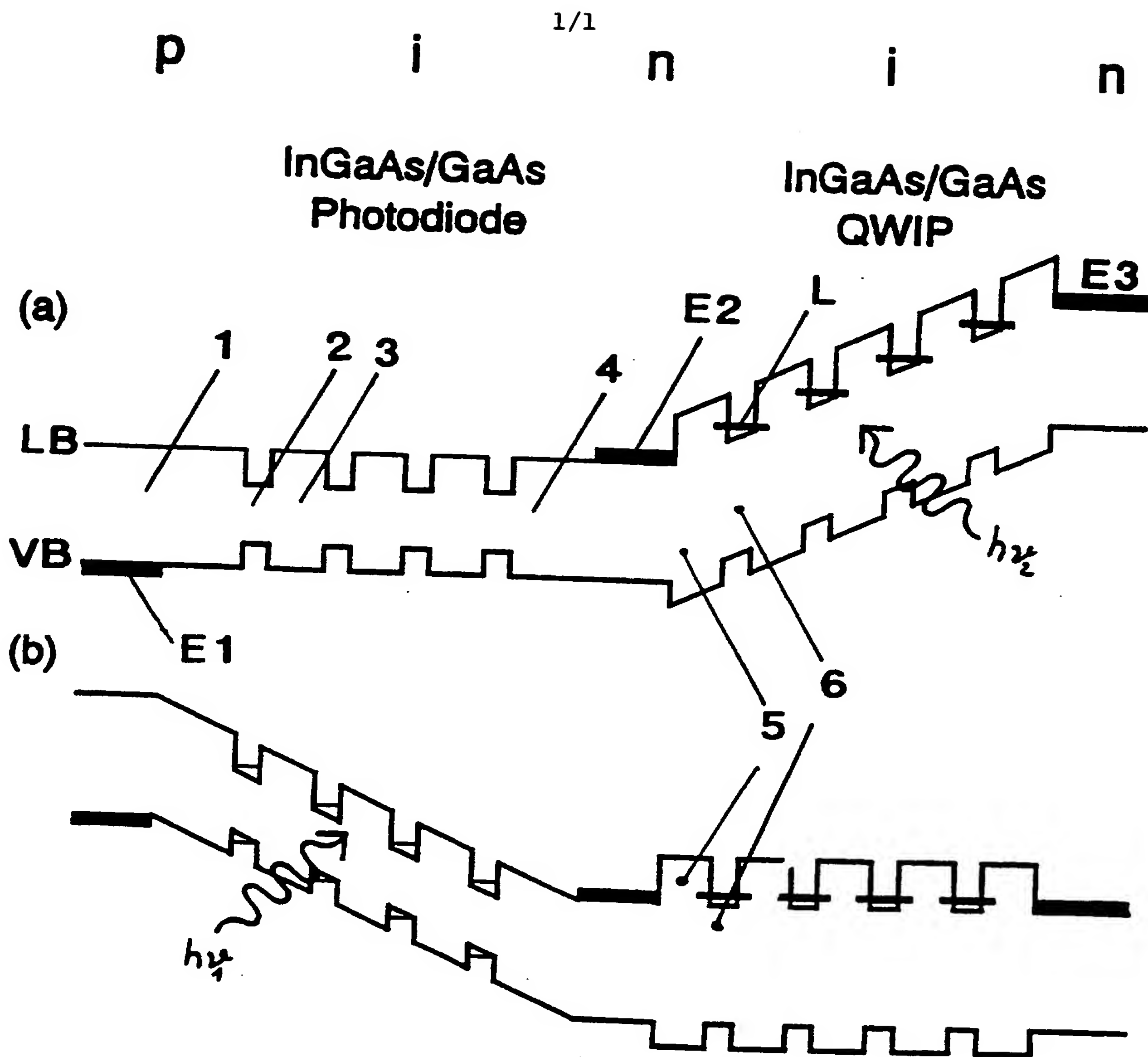
- sichtbarer Spektralbereich oder nahes IR und  
3-5  $\mu\text{m}$  oder 8-12  $\mu\text{m}$  oder
- 3-5  $\mu\text{m}$  und 8-12  $\mu\text{m}$ .

16. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 1 bis 8 oder 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem InP-Substrat als Photodiodematerial InGaAs verwendbar ist und der Quantumwell-Intersubband-Photodetektor alternierende Schichten jeweils aus InGaAs und InAlAs aufweist.

17. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 1 bis 8 oder 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem GaSb-Substrat als Photodiodematerial InAs oder GaSb/InAs-Übergitter oder AlGaSb/InGaSb-Übergitter verwendbar ist und der Quantumwell-Intersubband-Photodetektor alternierende Schichten jeweils aus GaSb und AlGaSb aufweist.

18. Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß ein Beugungsgitter auf bzw. unter dem Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor vorgesehen ist, das den auf die Struktur einfallenden Strahlungsanteil bzw. den gegenüber der beleuchteten Seite des Detektors reflektierten Anteil der Strahlung, der im spektralen Empfindlichkeitsbereich des Quantumwell-Intersubband-Photodetektors liegt, schräg zur Einfallsrichtung abbeugt.





**Fig. 1**

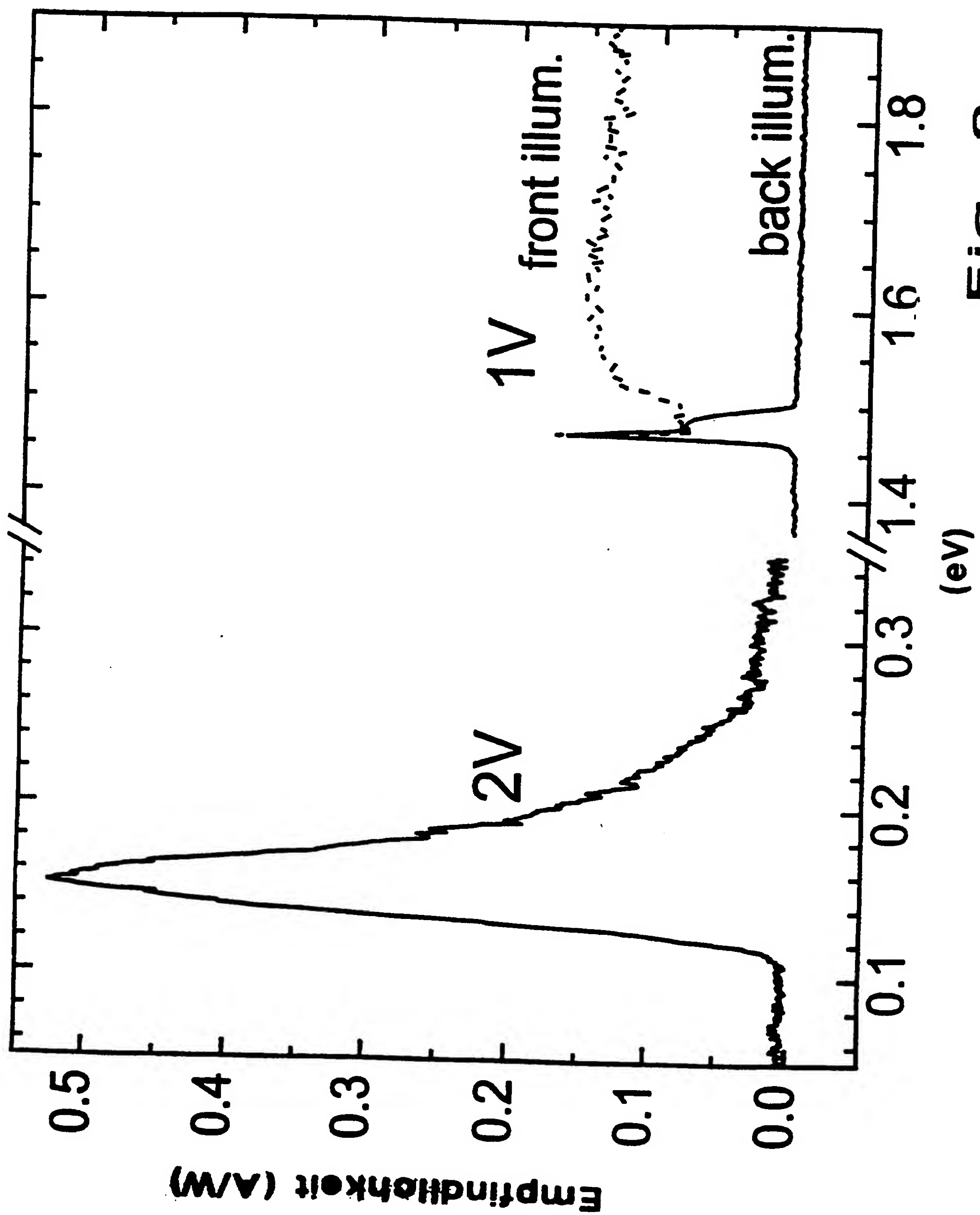


Fig. 2



**PCT**  
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro  
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>H01L 31/0352, 31/105</b>	<b>A3</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 97/17719</b> (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: <b>15. Mai 1997 (15.05.97)</b>
--	-----------	---

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE96/01983**

(22) Internationales Anmeldedatum: **16. Oktober 1996 (16.10.96)**

(30) Prioritätsdaten:  
**195 38 650.7      17. Oktober 1995 (17.10.95)      DE**

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): **FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).**

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHNEIDER, Harald [DE/DE]; Fichtenstrasse 26, D-79194 Gundelfingen (DE). SCHÖNBEIN, Clemens [DE/DE]; In den Weihermatten, D-79108 Freiburg (DE).**

(74) Anwalt: **MÜNICH, Wilhelm; München, Rösler, Steinmann, Wilhelm-Mayr-Strasse 11, D-80689 München (DE).**

(81) Bestimmungsstaaten: **CA, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).**

Veröffentlicht

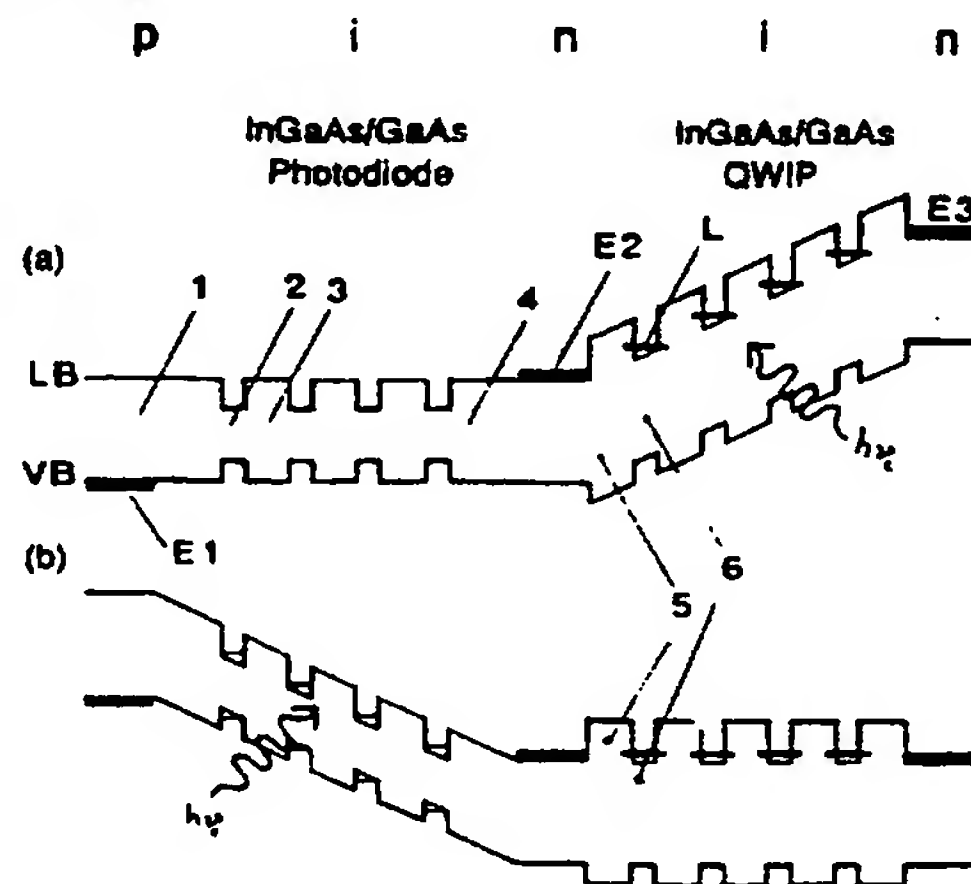
*Mit internationalem Recherchenbericht.*

*Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt fall Änderungen eintreffen.*

(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen Recherchenberichts: **3. Juli 1997 (03.07.97)**

(54) Title: **SEMICONDUCTOR HETEROSTRUCTURE RADIATION DETECTOR, WITH TWO SPECTRAL SENSITIVITY REGION**

(54) Bezeichnung: **HALBLEITERHETEROSTRUKTUR-STRAHLUNGSETEKTOR, MIT ZWEI SPEKTRALEN EMPFINDLICHKEITSBEREICHEN**



(57) Abstract

The invention relates to a semiconductor heterostructure radiation detector which has two adjacent semiconductor layer region sensitive in different spectral regions, in which photons each with different energies can be absorbed which optically excite charge carriers present in the semiconductor layer regions in such a manner that a photocurrent can be generated in each semiconductor layer region relation to an external electrical voltage applied via electrodes which are provided on the semiconductor heterostructure. The invention characterised in that the one semiconductor layer region is a photodiode and the other is a quantum well intersub-band photodetector.

(57) Zusammenfassung

Beschrieben wird ein Halbleiterheterostruktur-Strahlungsdetektor, der zwei aneinandergrenzende, in unterschiedlichen spektralen Bereichen empfindliche Halbleiterschichtbereiche aufweist, in denen Photonen mit jeweils unterschiedlichen Energien absorbierbar sind die in den Halbleiterschichtbereichen vorhandene Ladungsträger derart optisch anregen, so daß ein Photostrom in den jeweiligen Halbleiterschichtbereichen in Abhängigkeit einer über Elektroden, die an der Halbleiterheterostruktur vorgesehen sind, anliegenden äußeren elektrischen Spannung generierbar ist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß der eine Halbleiterschichtbereich eine Photodiode und der andere ein Quantumwell-Intersubband-Photodetektor ist.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 96/01983

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 H01L31/0352 H01L31/105

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 56, no. 3, 15 January 1990, pages 227-229, XP000127387 TOKUDA Y ET AL: "DUAL-WAVELENGTH MULTIPLE QUANTUM WELL N-I-P-I-N PHOTODETECTOR USING AN OPTICALLY BISTABLE ABRUPT ABSORPTION EDGE" see abstract; figure 2 see page 227, column 1, line 44 - column 2, line 16</p> <p style="text-align: center;">---</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	<p>1-9, 11-14</p>

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 May 1997

Date of mailing of the international search report

28 -05- 1997

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Visscher, E

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter. Application No.  
PC1/DE 96/01983

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 62, no. 26, 28 June 1993, pages 3504-3506, XP000382506 TSAI K L ET AL: "TWO-COLOR INFRARED PHOTODETECTOR USING GAAS/ALGAAS AND STRAINED INGAAS/ALGAAS MULTIQUANTUM WELLS" cited in the application see abstract; figures 1,2 ---	1-9, 11-14
A	US 5 023 685 A (BETHEA CLYDE G ET AL) 11 June 1991 see abstract; figures 2,3,7 see column 3, line 45 - line 54 see column 4, line 22 - line 49 see column 4, line 59 - line 69 see column 5, line 7 - line 11 ---	1-17
A	PROCEEDINGS OF THE SPIE, vol. 2274, 24 July 1994, pages 117-125, XP000646263 WILSON J A ET AL: "INTEGRATED TWO-COLOR DETECTION FOR ADVANCED FPA APPLICATIONS" see abstract see figure 1 see page 118, line 6 - line 17 ---	1,6,11, 12
A	IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN, vol. 32, no. 38, August 1989, page 270/271 XP000029855 "TYPE II SUPERLATTICE INFRARED PHOTODETECTOR" see the whole document ---	1,7-9, 16,17
X,P	APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 68, no. 13, 25 March 1996, pages 1832-1834, XP000582387 SCHNEIDER H ET AL: "VOLTAGE-TUNABLE TWO-COLOR DETECTION BY INTERBAND AND INTERSUBBAND TRANSITIONS IN A P-I-N-I-N STRUCTURE" see the whole document ---	1-18
A	APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 60, no. 16, 20 April 1992, pages 2011-2013, XP000277832 KOECK A ET AL: "DOUBLE WAVELENGTH SELECTIVE GAAS/ALGAAS INFRARED DETECTOR DEVICE" cited in the application see abstract; figure 1 see page 2011, column 1, line 19 - column 2, line 4 see page 2012, column 1, line 10 - line 47 ---	1,7-9,18

-/--



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter national Application No  
PC1/DE 96/01983

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 61, no. 6, 10 August 1992, pages 666-668, XP000290126 KHENG K ET AL: "TWO-COLOR GAAS/(ALGA)AS QUANTUM WELL INFRARED DETECTOR WITH VOLTAGE-TUNABLE SPECTRAL SENSITIVITY AT 3-5 AND 8-12 UM" cited in the application see abstract; figure 1 see page 666, column 1, line 1 - line 21 -----</p>	1,15

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter nal Application No  
PCT/DE 96/01983

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5023685 A	11-06-91	CA 1314614 A	16-03-93
		DE 68916867 D	25-08-94
		DE 68916867 T	22-12-94
		EP 0345972 A	13-12-89
		ES 2056218 T	01-10-94
		JP 2043777 A	14-02-90
		JP 7066980 B	19-07-95
-----			

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE 96/01983

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 H01L31/0352 H01L31/105

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 6 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehorende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen:

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	<p>APPLIED PHYSICS LETTERS, Bd. 56, Nr. 3, 15. Januar 1990, Seiten 227-229, XP000127387 TOKUDA Y ET AL: "DUAL-WAVELENGTH MULTIPLE QUANTUM WELL N-I-P-I-N PHOTODETECTOR USING AN OPTICALLY BISTABLE ABRUPT ABSORPTION EDGE" siehe Zusammenfassung; Abbildung 2 siehe Seite 227, Spalte 1, Zeile 44 - Spalte 2, Zeile 16</p> <p style="text-align: center;">--- -/-</p>	<p>1-9, 11-14</p>

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

15. Mai 1997

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

28-05-1997

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+ 31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Visscher, E

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	APPLIED PHYSICS LETTERS, Bd. 62, Nr. 26, 28.Juni 1993, Seiten 3504-3506, XP000382506 TSAI K L ET AL: "TWO-COLOR INFRARED PHOTODETECTOR USING GAAS/ALGAAS AND STRAINED INGAAS/ALGAAS MULTIQUANTUM WELLS" in der Anmeldung erwähnt siehe Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 ---	1-9, 11-14
A	US 5 023 685 A (BETHEA CLYDE G ET AL) 11.Juni 1991 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 2,3,7 siehe Spalte 3, Zeile 45 - Zeile 54 siehe Spalte 4, Zeile 22 - Zeile 49 siehe Spalte 4, Zeile 59 - Zeile 69 siehe Spalte 5, Zeile 7 - Zeile 11 ---	1-17
A	PROCEEDINGS OF THE SPIE, Bd. 2274, 24.Juli 1994, Seiten 117-125, XP000646263 WILSON J A ET AL: "INTEGRATED TWO-COLOR DETECTION FOR ADVANCED FPA APPLICATIONS" siehe Zusammenfassung siehe Abbildung 1 siehe Seite 118, Zeile 6 - Zeile 17 ---	1,6,11, 12
A	IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN, Bd. 32, Nr. 3B, August 1989, Seite 270/271 XP000029855 "TYPE II SUPERLATTICE INFRARED PHOTODETECTOR" siehe das ganze Dokument ---	1,7-9, 16,17
X,P	APPLIED PHYSICS LETTERS, Bd. 68, Nr. 13, 25.März 1996, Seiten 1832-1834, XP000582387 SCHNEIDER H ET AL: "VOLTAGE-TUNABLE TWO-COLOR DETECTION BY INTERBAND AND INTERSUBBAND TRANSITIONS IN A P-I-N-I-N STRUCTURE" siehe das ganze Dokument ---	1-18
A	APPLIED PHYSICS LETTERS, Bd. 60, Nr. 16, 20.April 1992, Seiten 2011-2013, XP000277832 KOECK A ET AL: "DOUBLE WAVELENGTH SELECTIVE GAAS/ALGAAS INFRARED DETECTOR DEVICE" in der Anmeldung erwähnt siehe Zusammenfassung; Abbildung 1 siehe Seite 2011, Spalte 1, Zeile 19 - Spalte 2, Zeile 4 siehe Seite 2012, Spalte 1, Zeile 10 - Zeile 47 ---	1,7-9,18

-/--

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PC1/DE 96/01983

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>APPLIED PHYSICS LETTERS, Bd. 61, Nr. 6, 10. August 1992, Seiten 666-668, XP000290126 KHENG K ET AL: "TWO-COLOR GAAS/(ALGA)AS QUANTUM WELL INFRARED DETECTOR WITH VOLTAGE-TUNABLE SPECTRAL SENSITIVITY AT 3-5 AND 8-12 UM" in der Anmeldung erwähnt siehe Zusammenfassung; Abbildung 1 siehe Seite 666, Spalte 1, Zeile 1 - Zeile 21</p> <p>-----</p>	1,15



**Internales Aktienzeichen**

Im Recherchenbericht  
angeführtes Patentedokument

**Datum der  
Veröffentlichung**

**Mitglied(er) der  
Patentfamilie**

**Datum der  
Veröffentlichung**

11-06-91

16-03-93

25-08-94

22-12-94

13-12-89

01-10-94

14-02-90

19-07-95

BNSDOCID: &lt;WO\_\_\_\_\_9717719A3\_I\_&gt;